Analyses de sols et gestion de l'espace

Plaidoyer pour leur cadrage géomorphopédologique dans les projets, expertises et services de conseil

L. Bock

UER des Sciences du Sol et de la Terre . Faculté des Sciences Agronomiques . 5030 Gembloux . Belgique.

RÉSUMÉ

Partant du constat d'une part, qu'il règne une certaine confusion sur ce qu'on peut attendre d'une analyse de sol (au sens typologique comme au sens agronomique) et d'autre part, qu'il est fort peu fait appel, dans ce domaine, aux acquis de la pédologie et des cartes de sols, la présente contribution veut, dans une première partie, poser les choix sur le terrain, attacher toute l'attention nécessaire à l'échantillonnage, insister sur la valeur explicative des paramètres, souligner l'importance d'adapter les menus d'analyses aux objectifs et aux contextes rencontrés, discuter pour l'essentiel des modes opératoires les plus couramment admis, suggérer une présentation structurée des résultats.

Dans une seconde partie, quelques exemples sont tirés d'études qui toutes tentent de mettre en relation les apports de l'analyse avec les données de la pédologie et de l'occupation des terres que ce soit sur la base de la Carte des Sols de Belgique ou d'une expérience de projet au Fouta Djalon (Guinée).

Les conclusions font notamment appel aux réseaux, aux systèmes de référence et à la prise en compte de fonctions de production ou d'impact.

Mots clés

Carte des sols, analyses de sol, cadrage géomorphopédologique, gestion de l'espace, Belgique.

SUMMARY

SOIL ANALYSES AND LAND MANAGEMENT

Proposal for an integrative approach

Considering that there is still much scope for the interpretation of soil analyses and that little use is made of knowledge acquired through pedology and soil maps, the first part of this paper emphasizes the importance of field decisions, sampling, explicative values of parameters, the need to adapt the "menus" of analyses to the objectives and contexts encountered, the diversity of procedures and the different steps of an interpretation.

The second part of this paper presents some case studies in which the choice of analyses is closely linked to soil and land use data whether based on the soil map of Belgium or derived from a project in Fouta Djalon (Guinea).

Key words

Soil maps, soil analyses, geomorphopedological referencing, land management, Belgium.

Manuscrit reçu : avril 1994 ; manuscrit accepté : mai 94

S'il est évident que la saine gestion de l'espace ou d'une terre ne peut se concevoir que sur la base d'une bonne connaissance des sols et de leurs propriétés, de même qu'un programme d'analyses au laboratoire ne peut être orienté que par un travail de terrain soigné, force est de constater que la réalité souffre de nombreuses lacunes et par là, de confusions.

Les principales raisons en seraient :

- le cloisonnement des structures qui éloigne le chercheur du praticien,
- le cloisonnement des spécialités qui tend à dissocier la mesure de l'observation,
- le caractère exclusif ou réductionnel de certaines démarches et paramètres adoptés,
- le temps de plus en plus court laissé à l'acquisition des données par rapport à leur traitement et donc, par rapport à l'outil,
- et en corollaires, la dispersion d'une information aux origines bien souvent mal connues et un vide toujours présent dans le calibrage pratique des analyses.

Et de fait, l'expérience ne cesse de révéler :

- la naïveté de certaines demandes qui sont exprimées hors contexte et hors connaissance des règles d'échantillonnage,
- l'inadéquation de certains appels d'offres internationaux eu égard aux objectifs visés et l'impersonnalité des exécutions en sous-traitance,
- la quasi-inexistence de documents de laboratoire, autres que ceux concernant les modes opératoires, qui apporteraient les bases d'une réflexion ou d'une méthodologie (*) ; souhait pourtant bien ressenti au travers de diverses missions d'audit (Algérie, Tunisie, Zaïre) et de visites de laboratoires (Guinée, Guinée Bissau, Maroc, Sénégal),
- le caractère trop souvent confidentiel des procédures d'interprétation et par conséquent,de conseil, voire l'absence de références qui aideraient à dépasser le seul concept du redressement et à estimer la biodisponibilité réelle concernant la fertilité ou à répondre aux interpellations croissantes de la société en matière environnementale,
- la pauvreté de certains rapports scientifiques ou techniques sur le parti réellement tiré des résultats d'analyses.

(*) *Quelques ouvrages méritent toutefois d'être cités : Sanchez, 1976; Cottenie, 1980; Brown, 1987; Baize, 1988; Landon, 1991...*

En conséquence, loin de vouloir décrier le bien-fondé des analyses de sols, le présent plaidoyer veut inviter à mieux prendre en compte les acquis de la pédologie. Dans ce sens, la création d'une revue visant davantage à finaliser la connaissance des sols vient bien à propos pour favoriser un meilleur bénéfice des arguments de laboratoire.

EN QUÊTE D'UNE MÉTHODOLOGIE DE TERRAIN

Repérage géographique

Il semble bien connu de nos jours, à en juger notamment par la presse agricole (Cultivar, 1991), que la qualité de l'échantillonnage préside tout autant à la validité d'un résultat que la rigueur technique souhaitée à son obtention au laboratoire.

Or, cette opération qui devrait relever d'hypothèses de travail posées sur le terrain et de critères compréhensibles pour l'utilisateur, est encore trop souvent limitée à une collecte expéditive de matériel.

Ce constat milite en faveur d'une méthodologie qui, reposant sur le choix des niveaux de perception et la hiérarchisation des critères, assure la pertinence des prélèvements en évitant de confondre ce qui peut être stratifié.

Pour le moins, cette méthodologie devrait s'appuyer sur le contrôle des documents pédologiques existants ou sur l'aptitude à pallier leur absence tout en veillant à ce que les données ainsi acquises s'inscrivent dans la perspective de systèmes compatibles.

À l'heure des systèmes d'information géographique et de l'importance reconnue à la vérité terrain, l'exigence du contrôle suppose, quelle que soit la finalité, qu'on puisse localiser un échantillon par ses coordonnées et extraire l'information disponible en ce point.

Lecture de paysage

La réalité montre, du moins en Belgique, que l'approche est perfectible; peu d'échantillonneurs sont formés à comprendre un paysage et ses relations quadridimensionnelles, à interpréter, sinon à lire, la carte des sols qui est éditée (IRSIA, IGN, UG, FSAGx) pour l'essentiel du territoire (sur vieux fond topographique au 1/20 000, hélas !).

Il devrait en être ainsi du repérage par comparaison de documents, prise en compte du relief et déduction d'éventuelles modifications parcellaires... tout en réalisant que la précision d'une carte des sols tient non pas de l'observation exclusive d'un point mais bien de la représentation d'une unité supposée homogène pour une échelle donnée.

Dans ce contexte, il n'est donc pas surprenant de voir encoder des données sans plus de précision que celle d'une identité, d'une adresse, d'une commune ou d'un code postal et de reporter, à plus tard, l'établissement d'une véritable base de comparaison.

L'hypothèse dès lors de suppléer à l'absence de documents relève encore plus du défi et ne peut se faire qu'en sensibilisant les intéressés aux principes d'une démarche à caractère séquentiel, systémique et historique.

Dans ce domaine, il faut bien admettre que la pédologie a consenti peu d'effort à fournir le mode d'emploi de ses cartes et à dégager leurs potentialités comme support de l'information. Une réflexion récente tente d'y remédier (Jamagne, 1993).

Cadrage des mesures in situ

Dans la pratique courante, l'essentiel des investigations en analyses des sols est conduit en laboratoire.

Dans certains domaines toutefois, comme ceux des sols salés ou des sols hydromorphes, des mesures (conductivité hydraulique, pH, conductivité électrique, potentiel d'oxydo-réduction) et des suivis en place s'imposent.

Avec le souci croissant de l'impact environnemental, cette nécessité de comprendre la dynamique des processus en conditions réelles intéresse tous les milieux. Il en va ainsi de la problématique du profil azoté en relation avec la protection des nappes ou de celle de l'aluminium dans la solution du sol en relation avec le dépérissement forestier, voire encore de la pollution par les métaux lourds. Mais pour aussi justifiée que soit cette tendance, ses exigences en temps et en moyens en limitent les possibilités de multiplication. Ces contraintes renforcent ce besoin d'une stratégie appropriée de l'intégration.

C'est ici encore que la méthodologie doit inspirer la complémentarité des efforts et montrer que seule une approche spatiale est à même d'assurer les liaisons explicatives, la représentativité des choix à l'échantillonnage et les limites d'interprétation; définitions de bassin-versant, de zone de référence, d'observatoire de mesures en continu ne s'opposent donc pas mais se complètent.

Face à quoi, on voit se développer de plus en plus de programmes de contrôle qui tentent d'assimiler le sol à une boîte noire pour prendre plus directement en compte un aspect immédiat et sujet à législation (normes coercitives de concentration ou de distance) comme une analyse d'eau ou une aire de mise en défens.

Quant à l'utilisation de trousses ou de tests de terrain, il y aurait lieu d'en vérifier les validités d'application.

ÉCHANTILLONNAGE ET CONDITONNEMENT

La fonction d'un échantillon est de représenter le plus fidèlement possible un ensemble plus vaste que les statisticiens ont l'habitude d'appeler une population.

La nature de celui-ci dépend évidemment de l'objectif poursuivi et du contexte étudié. Ne citant que pour mémoire les prélèvements non destructifs, la plupart des analyses classiques portent sur des échantillons pris en vrac.

Ceux-ci peuvent alors concerner soit un horizon de profil dans le cas d'une identification de sol et de ses aptitudes, soit la couche superficielle (de terre) plus ou moins anthropisée comme dans le cas d'une évaluation de la fertilité au sein d'un système de production.

D'emblée, il convient d'avoir à l'esprit le coût des analyses et d'éviter toute systématisation facile.

Prélèvement ponctuel

Ainsi, dans le premier cas, tout ou partie seulement du nombre des horizons décrits peut être prélevé en fonction du souhait de cerner ou non les transitions. Ce discernement quant au nombre d'échantillons à traiter devrait être maintenu tout au long du programme d'analyses par déduction de proche en proche des principaux paramètres de causalité tels que suggérés plus loin.

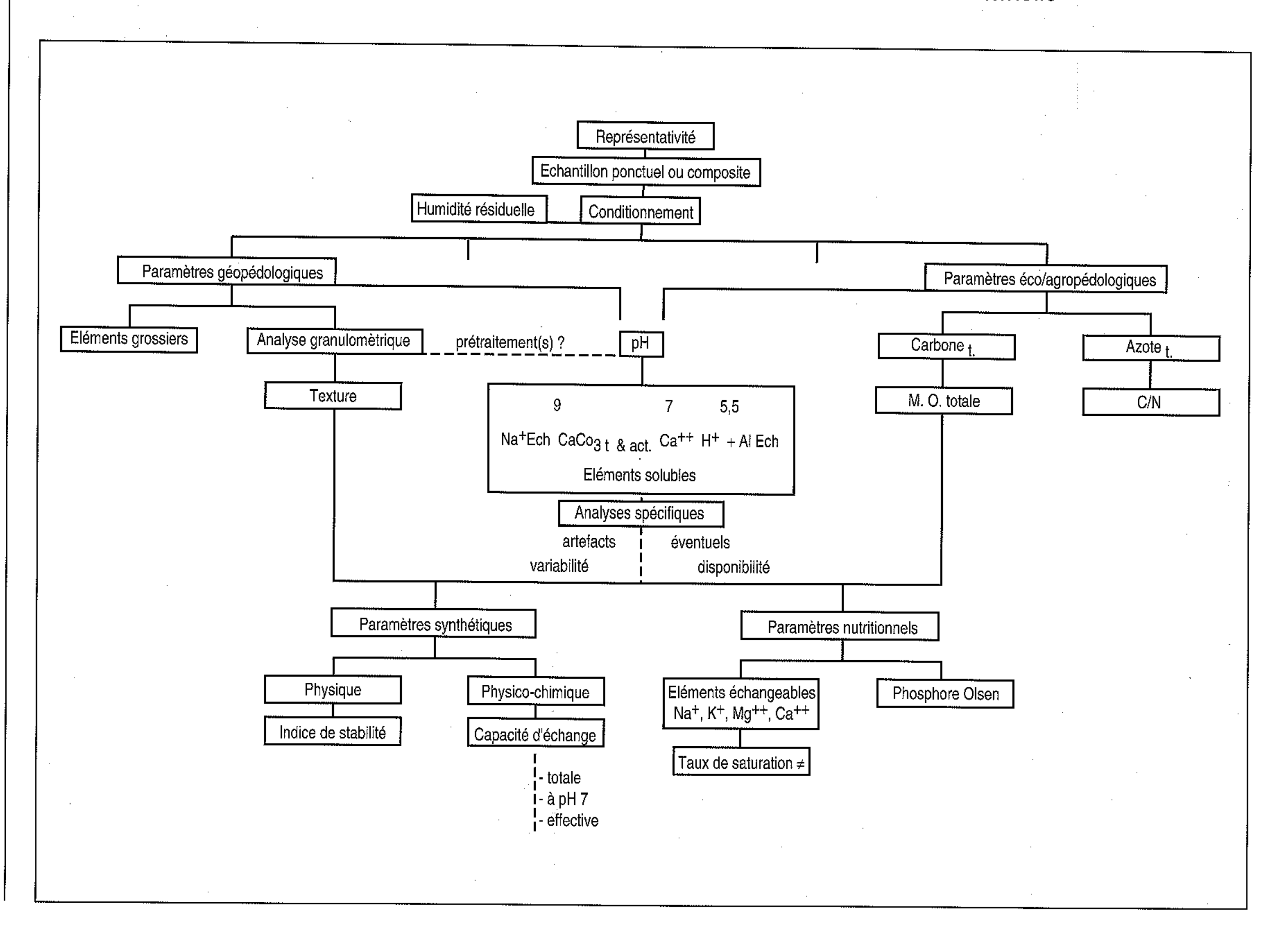
Ici même, la qualité du travail dépendra de la description (**) et, bien qu'il ne soit pas non plus toujours nécessaire de tout décrire, l'expérience tend à montrer que si la sensibilité aux nuances de couleurs et de charges en éléments grossiers est quasi générale, celle des textures et des structures est déjà moins vraie et celle des enracinements et des critères de compacité est encore plus rare; ce qui se traduit par des profils édaphiques ou culturaux souvent mal caractérisés.

Prélèvement composite

Le deuxième cas impliquerait dès lors qu'on ait préalablement bien compris le cadre d'exécution pour adapter au mieux l'effort aux moyens; les modalités à résoudre (Hanotiaux, 1985, 1986) y concernent généralement : les outils, la superficie unitaire à considérer, la façon de cheminer, le nombre de prélèvements, la profondeur, le moment, la fréquence, la quantité et la fiche de renseignements.

(**) Une fiche type (exhaustive mais non contraignante) est préconisée par le Réseau International d'Echange de Données de Sols (RIEDS, référence Delecour et Kindermans, 1980 en Belgique, modèle Stipa en France) avec les encouragements de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT).

ORGANIGRAMME DE BASE EN ANALYSES DE SOLS SUGGÉRANT LES CHOIX ET EXPLICATIONS



Ce qui implique des critères : de régularité de prélèvement, d'homogénéité parcellaire, de suivi possible, de spécificité des variables, d'occupation des sols et d'évolution dans les pratiques culturales, de répartition du travail, d'objectif et de coût.

A ce niveau crucial de décision, l'expérience tente à montrer l'intérêt de la démarche comparative que ce soit sur la base d'une différenciation verticale (entre horizons organiques et minéraux) ou spatiale (variations morphoséquentielles) au sein du milieu physique, de l'occupation ou d'une réponse de production, d'un historique bien connu. Elle conduit à penser aussi que :

- bien des résultats sont directement influencés par le moment de prélèvement, notamment en ce qui concerne la matière organique,
- le critère de profondeur n'est contrôlable que sur une terre relativement rassie, soit à la récolte, soit à la sortie de la période de repos (hiver ou saison sèche); cette dernière option étant la plus séduisante du fait même qu'elle offre un état à la reprise de croissance.

Par ailleurs, tous ces principes ne concernent pas jusqu'ici le domaine forestier où la démarche reste strictement associée à celle du profil, avec la lourdeur que cela peut représenter pour une efficacité pratique. La question de l'échantillonnage y reste entière et mériterait d'être posée.

Terre fine et refus

Une fois réceptionné, l'échantillon peut être traité en frais (exigence dans le cas de l'azote minéral) ou plus conventionnellement en sec sans pour autant que cette opération n'ait de conséquences sur les résultats; ses effets sur le dosage du potassium échangeable ou sur le pH de sols riches en sulfure sont bien connus.

Après quoi, on devrait plus justement parler d'un émottage que d'un broyage pour obtenir la terre fine au sens granulométriquement défini à 2 mm. Celle-ci s'adresse à l'analyse physique et à celles qui relèvent d'un principe d'échange. Une partie est effectivement broyée plus finement (0,5 à 0,2 mm) pour les analyses totales qui relèvent davantage de la chimie analytique que des principes de la science du sol.

A ce niveau, le refus en éléments grossiers, avec ses messages lithologiques et morphodynamiques, ses incidences physiques et chimiques, n'est généralement pas pris assez en considération (pourcentage, type, dimension, forme, degré d'altération...).

La conservation et le vieillissement des échantillons peuvent aussi être discutés.

EN QUÊTE D'UNE MÉTHODOLOGIE AU LABORATOIRE

Principes originaux en analyse des sols

Il est assez classique de faire la différence entre analyses physiques, chimiques et physico-chimiques sans que cela ne soit toujours très clair; l'analyse du carbone étant une analyse chimique qui concerne la présence physique de la matière organique, c'est dans ce sens qu'elle est prise par certains praticiens.

Plus directement effective, la différence entre analyses totales et analyses d'échange permet de mettre de l'ordre de façon mnémotechnique sur ce qui nécessite de la terre broyée finement ou de la terre à 2 mm.

Quoi qu'il en soit, on retiendra que les protocoles d'analyse comportent généralement une pesée, un ajout de réactif ou d'extractif respectant un rapport sol-solution rigoureux, une minéralisation ou une extraction respectant un temps de contact précis et diverses contraintes d'agitation, de température voire d'éclairage, une séparation éventuelle avant mesure.

Paramètres explicatifs

Par ailleurs, pour dépasser le stade de l'analyse-recette, du simple constat, des commentaires juxtaposés, du recours quasi exclusif aux normes, il faut considérer, dès la conception, la valeur explicative des paramètres. L'organigramme présenté ci-contre, et commenté dans les paragraphes suivants, suggère à la fois, le menu de base classique, l'incidence de certains constats et la logique dans la suite des analyses, à savoir :

- des paramètres minéraux (dont l'analyse granulométrique) et organiques (carbone total et azote total) de causalité qui, influencés par le climat et l'homme, déterminent le pH du sol,
- un pH qui en fonction de sa valeur détermine la programmation de certaines analyses, la nécessité d'éventuels prétraitements, la réponse d'autres variables et le risque d'artefacts,
- des paramètres synthétiques (dont la capacité d'échange cationique) et nutritionnels résultants.

Le schéma est donné, il peut être peaufiné, intégrer d'autres analyses, mais si rien n'y est strictement intangible, son efficacité pédagogique s'est déjà révélée.

Clarté des menus

Ceci amène évidemment à introduire la notion de menu puisque toute analyse ne va pas s'appliquer indistinctement à tout échantillon. C'est une façon de faire partager la philosophie des choix et parfois aussi des coûts aux non spécialistes chez qui la confusion est bien souvent totale à ce sujet.

C'est pourquoi, la fiche d'identité-type d'un sol à l'organigramme peut être limitée dans certains cas d'évaluation (pH,

carbone, éléments nutritifs), adaptée à des conditions (calcaires...) ou exigences particulières (oligo-éléments...), ou encore très nettement développée (différentes formes reconnues d'un élément).

C'est dire aussi que ces menus, à la fois marqués par la demande et le contexte rencontré, doivent revêtir une forme modulable.

Message écologique du pH et incidences

Cela montre aussi que le message écologique du pH et de ses conséquences en fait l'indice de première main; à savoir :

- les valeurs inférieures à 7 caractérisent le domaine acide et de ce fait, suggèrent d'y déterminer l'acidité d'échange et en deçà de 5, l'aluminium échangeable pour ses risques de toxicité bien connus, de même qu'elles sous-tendent le concept de capacité d'échange cationique effective attaché à celui de charges dites variables ou encore dépendantes du pH,
- les valeurs voisinant 7 correspondent à la neutralité d'un état calcique dominant ou encore à l'optimum agricole,
- les valeurs supérieures à 7 attestent le domaine basique (le mot alcalin peut être d'un emploi ambigu en pédologie) et de ce fait, en fonction même des indices de terrain, suggèrent de déterminer les carbonates totaux et la salinité jusqu'à concurrence de 9 et l'alcalinité au-delà, c'est-à-dire la part du sodium échangeable sur le complexe d'échange.

Artefacts et prétraitements

D'un point de vue technique, le calcaire, les éléments solubles et les sesquioxydes potentiels ne sont pas sans conséquences sur le déroulement des analyses. On en vient à devoir discuter de l'opportunité de prétraitements à l'analyse granulométrique en opposant une définition stricte à un concept plus écologique (notion de pseudo-limons) et à prévoir des problèmes de charge ou de sursaturation relative pour le complexe d'échange.

DU CHOIX DES MODES OPÉRATOIRES

La mesure de pH

Cette analyse, tout en étant réputée fort simple, offre toute une série de variantes sur le marché quant aux principes élémentaires énumérés ci-dessus. Deux mesures sont habituellement conduites en séquence ou en parallèle, celle de l'acidité actuelle avec le pH H_2O et celle de l'acidité d'échange, plus stable, avec le pH KCl à la concentration normale (voire 0,1 normale).

La différence de la première mesure par rapport à la seconde détermine le signe de la charge prévisible et tend à renseigner, pour un milieu donné, sur l'état de saturation du complexe de sorption, bien qu'il faille avoir toujours en vue la spécificité des éléments colloïdaux présents.

La mesure de l'acidité d'échange et de l'aluminium échangeable

(si justifiée par le pH)

Par la méthode classique au chlorure de potassium et au fluorure de sodium avec mesures titrimétriques, potentiographiques ou encore colorimétriques pour l'aluminium.

Les carbonates totaux (si justifiés par l'importance des formes reconnues sur le terrain et le pH)

La référence est celle du calcimètre de Bernard ou du titrage d'un excès d'acide sulfurique après réaction à chaud. Seconde procédure qui se prête peut-être mieux au travail en routine et au dosage des carbonates mixtes (dolomie).

Le calcaire actif

(si justifié par la mesure précédente)

La méthode Drouineau qui recourt au précipité d'oxalate de calcium reste à l'honneur quoique très empirique comme l'ont démontré les observations de Callot et Dupuis (1980) et à l'interprétation perfectible si on y attache l'Indice de Pouvoir Chlorosant (IPC) de Juste et Pouget rappelé par Duclos où intervient la quantité de fer extraite.

La mesure de la conductivité électrique et le dosage des éléments solubles

(si justifié par le terrain et partiellement par le pH, réserve des sols sulfatés acides)

Certains pragmatismes y privilégient le test orientatif dans l'extrait à l'eau au 1/5 par rapport à celui de l'extrait de pâte saturée bien que cette seconde référence soit celle admise pour le dosage des éléments solubles (Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} et NH_4^+ pour les cations, CO_3^{2-}, HCO_3^{2-}, Cl^{2-}, SO_4^{2-} et NO_3^{2-} pour les anions).

On peut regretter ici que les traditions nous livrent à des manipulations quasi identiques de mesures de pH au 2/5 (mais respect d'un temps d'équilibre) et de conductivité au 1/5 (mais limitation du temps de contact pour éviter les désorptions d'éléments échangeables); s'il était possible d'uniformiser, la disponibilité de normes de salinité et une meilleure adaptation aux sols riches en matière organique devraient favoriser la seconde suspension.

L'analyse granulométrique

Cette analyse avec sa connotation texturale et ses courbes cumulatives d'expression sédimento-pédologique assure le relais au laboratoire avec la toile de fond lithologique et les relations formes - formations reconnues sur le terrain. Par ailleurs, elle constitue souvent un critère d'entrée dans des tableaux de normes et abaques.

Outre les prétraitements classiques ou particuliers déjà évoqués, les choix portent principalement sur celui du peptisant et sur les méthodes de mesures telles que la référence internationale de la Pipette Robinson, l'hydromètre à chaîne ou la méthode rapide du densimètre de Bouyoucos. Les calculs demandent correction en fonction même des prétraitements réalisés et de l'humidité résiduelle conventionnellement déterminée à 105°C jusqu'à poids constant.

Les méthodes plus modernes du compteur de particules (sujet à obstructions), du sédigraphe à rayons X (gain de temps discutable) et des appareils à laser (dimensions réelles des particules mettant à mal la condition de sphéricité de la formule de Stokes) ne sont pas d'usage courant.

Avec l'existence de différents diagrammes triangulaires texturaux, le délicat problème des références toujours à citer dans le domaine des analyses est souligné.

Le dosage du carbone organique total

Cette analyse est généralement conduite par voie humide soit à froid, ou plutôt sous réaction exothermique naturelle, selon la méthode Walkley Black, soit à chaud, selon la méthode Anne ou encore Springer-Klee; le choix tient à la recherche de précision ou de cadence, soit encore aux moyens disponibles.

Hormis la correction (4/3) parfois réalisée pour transposer les résultats de la première en "équivalents" de la seconde, il est traditionnellement fait recours (sur la base de ce que le carbone y représenterait 56%) au facteur 1,72 pour obtenir le taux de matière organique alors même que des études plus récentes ont montré que la chose n'était vraie que pour des horizons holorganiques; le facteur 2 (Delecour et El Attar, 1964) étant plus juste pour les horizons hémiorganiques ou minéraux.

Ces considérations peuvent hélas conduire à apprécier très diversement l'état organique d'une terre; face à quoi, cela renforce l'idée qu'il est préférable de s'exprimer en élément pour la méthode retenue.

Le dosage de l'azote (organique) total

Selon les principes de la méthode Kjeldahl et pour autant que le catalyseur employé assure bien ce concept; la partie minérale pouvant s'inscrire dans les limites de l'erreur analytique.

L'intérêt du résultat, généralement limité aux horizons de surface dans le cas de profil, étant davantage perçu à travers le calcul du rapport C/N que de sa valeur propre à laquelle on préfère, dans la pratique, celle des nitrates.

La mesure de la capacité d'échange cationique

De plus en plus souvent utilisée pour confronter le niveau de fertilité d'un sol, celle-ci sous-tend pour le moins trois définitions :

- la référence internationale à l'acétate d'ammonium normal à pH 7 pour les besoins de classification des sols et de normes à l'optimum agricole,
- la référence totale au chlorure de baryum à pH 8,2 quand toutes les charges, y comprises celles dépendantes du pH, sont bien exprimées,
- et la référence effective (notion importante pour les sols acides) au pH du sol qu'elle soit réellement mesurée ou seulement calculée en additionnant les bases échangeables à l'acidité d'échange titrée,

... en conséquence, les résultats diminuent généralement avec le pH et ce, d'autant plus qu'il y a de charges dépendantes.

Par ailleurs, le type de sol n'est pas insensible au choix du cation ou de l'anion (Ruellan et Deletang, 1967) et dans le cas des sols salés par exemple, la prescription porte sur l'acétate de sodium à pH 8,2.

Le mode opératoire proprement dit met en œuvre les principes de la percolation ou d'agitations suivies de centrifugations. Dans le plus simple des cas, on retombe finalement sur une distillation et un titrage de type Kjeldahl.

Le dosage des cations échangeables...

Soit en relation directe avec la méthode précitée à pH 7, soit au travers de diverses adaptations dictées par le type de sol (augmentation du pH pour les milieux carbonatés, parallélisme d'extractifs pour les sols salés) ou le but poursuivi (simulation de l'action racinaire par diminution du pH).

En milieu basique, on reste bien souvent embarrassé dans le calcul du taux de saturation en bases, par des excès en éléments solubilisés, et obligé de recourir à des subterfuges de déduction que le bon sens d'un programme pourrait éviter par impasse; seule la teneur en potassium ayant encore un véritable intérêt.

ou de la "biodisponibilité"

Dans le cas d'une simulation qui intéresse aussi plus directement le concept de taux de saturation effectif, la tendance est à recourir à l'extractif unique qui puisse servir tant au dosage des bases (Na^+, K^+, Mg^{2+} et Ca^{2+}) que du phosphore ou bien encore de la plupart des oligo-éléments; attitude pragmatique anglo-saxonne économe de temps, de coûts et de corrélations toujours possibles qui s'oppose quelque peu à la démarche analytique française. Il en va ainsi par exemple de l'acétate d'ammonium 0,5 N à pH 4,65 + EDTA qui est couramment utilisé dans le sud de la Belgique et de son pendant au bicarbonate d'ammonium à pH 7,6 préconisé pour les sols basiques (Soltanpour et Schwab, 1977).

A noter que, par souci de référence avec les auteurs allemands, la tradition en pédologie forestière belge est ici au chlorure d'ammonium 1% .

Le dosage du phosphore

La méthode Olsen dite du phosphore disponible au bicarbonate de sodium tend à s'imposer comme référence universelle bien qu'à type de sol donné, certaines méthodes puissent toujours s'avérer mieux corrélées avec la réponse végétale; ce serait le cas de la méthode Bray-Kurtz dans les sols ferrallitiques.

Comme pour l'azote, une investigation de surface suffit généralement.

EN QUÊTE D'UNE MÉTHODOLOGIE A L'INTERPRÉTATION

Rappel de situation et ciblage des relations

Le choix des unités et le nombre de décimales à respecter ont notamment été codifiés par le RIEDS et leurs différents modes d'exploitation largement commentés et illustrés par Baize (1988).

Le propos vise ici à la conception de tableaux dont les premières colonnes dépassent la simple numérotation des échantillons et s'offrent, par le rappel des principaux critères physiques retenus (position, occupation, charge), comme une prolongation du terrain et une composante de légende cartographique; cela rejoint le propos de Sanchez *et al.* (1982) quant à une classification de la fertilité chimique des sols tout en lui assurant le cadre d'application.

Cette discipline associée à celle de la valeur explicative des paramètres doit permettre en première tâche d'opérer facilement un certain nombre de contrôles logiques et objectifs de cohérence horizontale d'abord (soit entre analyses), de cohérence verticale ensuite (soit entre échantillons).

Pour suivre, il est possible d'opérer une simplification du "paysage chiffré" en repérant des échantillons particulièrement typés et de proposer un diagnostic par une exploitation :

- de valeurs qui trouvent une relation logique avec le terrain (référence granulométrique d'un matériau bien identifié ou teneur en matière organique explicite pour une occupation donnée),
- d'indices appropriés (C/N, taux de saturation en bases...),
- d'équilibres vérifiés (rapports entre bases...),
- et de figures explicites.

C'est seulement alors, dans un contexte bien compris et pour autant qu'on ait rigoureusement respecté les mêmes méthodes, que les normes diversement trouvées dans la littérature peuvent être utilisées ou mieux faire l'objet de contrôles expérimentaux avant leur généralisation spatiale jusqu'ici trop rarement garantie. Les éléments d'interprétation personnalisée en analyse des sols fournis par Calvet et Villemin (1986) illustrent ce propos.

Conseil à l'hectare

Cette rubrique veut attirer l'attention sur la dualité du travail qui consiste :

- au laboratoire, à assurer la plus grande fiabilité possible aux fins d'enseignement (constat et comparaison) et donc, à opérer les contrôles de qualité nécessaires (2 à 5 % d'erreur pour les analyses totales et 5 à 10 % pour les analyses d'échange étant dans l'ordre des choses),
- et sur le terrain, à garder le sens des réalités dans l'application qui, fort de toutes les contraintes connues, doit rapporter la mesure de quelques milli-équivalents déterminés sur quelques grammes à deux ou trois mille tonnes de matériel en place.

Par ailleurs, il est certain que l'objectif des systèmes de référence appelle à la constitution de réseaux et à leur harmonisation toujours plus poussée. A cet effet, la Commission des Sols de Wallonie (CSW), au même titre que le Groupe d'Études Méthodologiques pour l'Analyse des Sols (GEMAS) en France, s'emploie à garantir la qualité dans ce domaine (Laroche, 1993).

ANALYSES, CARTES ET FONCTIONS DE PEDOTRANSFERT

Il s'agit ici de tentatives de référence à la légende de la Carte des Sols de Belgique levée au 1/5 000 et éditée en couleurs au 1/20 000 comme base d'un système de gestion des résultats au niveau des unités de paysage et d'exploitation.

La légende de cette carte repose sur les définitions de séries et de phases cartographiques c'est-à-dire sur des critères morphologiques objectifs que sont par exemple la présence d'un substrat (minuscule en préfixe), la texture (majuscule), le drainage naturel (première minuscule), le développement de profil (deuxième minuscule), une charge "caillouteuse" (minuscule en suffixe), la profondeur (chiffre en suffixe) ...

La lithologie comme indice d'héritage

Les prélèvements composites de l'horizon cultivé ignorent bien souvent la compréhension de la diversité lithologique pour peu que celle-ci soit masquée par un manteau superficiel de colluvions ou d'alluvions.

De telles informations étant déductibles de la carte précitée (substrat, texture, charge), la mise en relation d'un résultat d'analyse avec une unité de sol dans son contexte géomorphologique offre donc une clé d'interprétation pertinente, de généralisation contrôlée et de conseil justifié.

C'est ainsi qu'en Lorraine belge, à l'échelle de l'hectomètre et pour une même occupation, des analyses comparées (Schartz, 1993) de surface et de profondeur ont permis non seulement de reconnaître deux générations d'apports limoneux

mais aussi de quantifier parfaitement les caractéristiques de trois grands domaines lithologiques.

Il s'en déduit des fournitures magnésiennes importantes au profil cultural par des marnes du Keuper et des efforts déployés pour maintenir le pH à l'optimum sur "marnes de l'Hettangien" partiellement décarbonatées et pour l'améliorer sur "limons sableux acides du Rhétien".

La texture, critère d'accès aux normes

L'explicitation des sigles de texture et de développement de profil (Mohazzab, 1986) par des courbes cumulatives parfaitement sigmoïdales pour des sols bruns lessivés sur limon quaternaire (lœss), et concaves pour des podzols sur sable tertiaire, permet de mieux faire comprendre à des praticiens les unités cartographiques moins typées de versant qui, sous le coup de l'érosion et du colluvionnement, présentent des courbes d'allures intermédiaires.

Enseignement qui devrait encourager les laboratoires à nuancer plus finement leurs références en matière de texture pour aider au jugement des niveaux de richesse en cations échangeables ; l'analyse granulométrique n'étant pas au menu classique et n'ayant théoriquement pas de raison d'être sur échantillon composite.

Une démarche similaire dans une région géologiquement contrastée (Engels et Neven, 1993) a permis de dégager l'impact marqué de certaines lithologies par rapport à d'autres tout en appréhendant l'amplitude des effets d'occupation pour chaque unité.

La matière organique, témoin de l'occupation et facteur d'équilibre

Des nombreux programmes de recherches qui sont mis en place pour répondre aux directives de la Politique Agricole Commune et qui peuvent concerner les épandages organiques, la jachère cultivée, la diversification, on peut souvent regretter de ne pas avoir une connaissance géographiquement précise de l'état organique des terres et de ne pas disposer de tous les éléments d'appréciation nécessaires pour transposer les résultats des expérimentations.

Ainsi en région limoneuse (Bock *et al.*, 1993 et en préparation; Massart, 1993), la stabilité structurale des unités colluviales cartographiées (critère de développement de profil) est moins bonne en agrobiologie que celle des unités de plateau et de versant et inversement en rotation triennale; l'explication, à teneurs en argile toujours moindres des colluvions, tient au moindre écart en matière organique et à une compensation de sa qualité (fractionnement) dans la seconde relation. Par ailleurs, les réponses les moins bonnes sont obtenues pour les sols dits tronqués de rupture de pente convexe.

Ceci confirme, par l'approche terrain, l'importance bien connue du rapport matière organique sur argile et la nécessité de faire la part des choses entre les propriétés intrinsèques d'un matériau au laboratoire et sa position dans le relief; les premières mesurent en quelque sorte une aptitude, la seconde exprime une réalité de terrain avec ses phénomènes d'érosion et de régime hydrique différents.

Un essai de confrontation avec les rendements

Celui-ci, portant sur la comparaison de quatre méthodes d'extraction du phosphore à travers quatre régions naturelles (Homsy, 1992), tente à montrer que les rendements en orges sont influencés par les variantes de drainage naturel ou de lithologie au sein d'une même région (réponse moins bonne sur association marneuse que sur association calcaro-gréseuse).

Par ailleurs, opérant une sélection graphique au sens de Cate et Nelson, on constate que ce sont presque toujours les mêmes cas qui offrent les moins bonnes corrélations, à savoir : des rendements élevés pour des teneurs faibles en phosphore disponible, ou inversement; cette relative incohérence caractérise principalement une région d'agriculture mixte (effet organique à approfondir) dans le premier cas, et plus spécialement des sols connus pour leur profil tronqué dans le second.

ANALYSES ET APPROCHE GÉOMORPHOPÉDOLOGIQUE

Exemple en région peu connue – Le Fouta Djallon en Guinée (Conakry)

Compte tenu d'un échantillonnage justifié par des critères objectifs de typologie et d'occupation des sols, et par la concordance avec une excellente terminologie vernaculaire, il a été possible (Henquin *et al.*, 1991) d'expliquer l'incidence des teneurs en matière organique sur la capacité d'échange cationique, le calcium échangeable et le pH, et conséquemment de :

- mettre en évidence le relativement bon état physico-chimique des sols caillouteux de versants, à tort considérés comme érodés, par rapport aux sols limoneux de plateau particulièrement sensibles et pauvres,
- percevoir les effets améliorants de cultures de cases en fonction de l'ancienneté, de la distance par rapport au centre ou de la longueur d'une jachère ou encore, de certaines pratiques maraîchères.

Sur cette base comparative, il s'est avéré intéressant (Terneus *et al.*, sous presse) de transposer les différences en terme d'accroissements à l'hectare pour les principaux paramètres de sol afin d'estimer, en première approche, ce que pourrait offrir un programme plus directement axé sur la matière organique comme l'agroforesterie.

CONCLUSIONS

Les analyses de sols offrent d'excellents critères d'identification, d'évaluation et de gestion pour peu que leurs stratégies soient raisonnées au départ du terrain, et ce, tant en ce qui concerne l'appréhension du milieu physique que la compréhension du mode de faire-valoir. Cependant, la qualité de leur interprétation ne peut progresser que par une meilleure gestion et confrontation de résultats jusqu'ici par trop conceptuellement et spatialement isolés.

L'effort à réaliser porte, dans ce sens, sur :

- le repérage géographique de l'information,
- l'aptitude à comprendre l'organisation d'un paysage,
- le soin consacré à l'échantillonnage,
- le discernement de menus appropriés aux contextes étudiés,
- la sensibilité à la valeur explicative des paramètres considérés,
- la prise en compte du rapport objectif – temps – coûts – qualité,
- l'harmonisation des méthodes d'exécution et le contrôle de qualité à travers le fonctionnement de réseaux comme le GEMAS en France, la Commission des Sols de Wallonie et le Réseau de Qualité Sud en Belgique méridionale (RéQuaSud),
- le calibrage à des fonctions de production ou d'impact à travers la caractérisation de références régionales, de suivis en vraies grandeurs (concept d'observatoire), d'expérimentations ciblées qui trouvent leur essence dans des faits observables et visent à établir les relations analyse – sol – plante – système sans rupture d'échelle ou de délimitation.

Par leur prise en compte des héritages lithologiques, par leur mémoire des remaniements, par la valeur de leurs arguments édaphiques, *les cartes de sols*, confrontées à des orthophotoplans ou photographies aériennes, *constituent les bases existantes les plus solides d'un système polyvalent pour une saine gestion de l'espace et un diagnostic d'ensemble;* celui-ci devant être idéalement personnalisé à la parcelle pour un "entrepreneur" en même temps qu'explicite de la variabilité spatiale pour un planificateur.

A ce niveau, il est à souhaiter que les récents développements en géostatistique s'appliquent davantage à faire réfléchir sur des limites d'interprétation raisonnable plutôt que sur l'hétérogénéité même des choses pour lesquelles, il est des seuils difficiles à gérer économiquement. Une récente application au Maroc (Loukili, en préparation) en montre l'intérêt pour confirmer des organisations physiques ou en nuancer chimiquement des transitions par influences latérales.

BIBLIOGRAPHIE

Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie, INRA, Paris, France, 172 p.

Brown J.R. ed, 1987 - Soil testing : sampling, correlation, calibration, and interpretation, Soil Sc. Soc. of America, Madison, USA, 144 p.

Callot G. et Dupuis M., 1980 - Le calcaire actif des sols et sa signification, Sc. du Sol, Bull. de l'AFES, n°1, 17-26.

Calvet G. et Villemin P., 1986 - Interprétation des analyses de terre, IPAS, SADEF - SCPA, Aspach le Bas, France, 25 p.

Cottenie A., 1980 - Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations, FAO Soils bulletin 38/2, Rome, 100 p. + appendix.

Cultivar - 1991, L'analyse de terre, n°289, janvier, 66-79.

Delecour F. et El Attar A., 1964 - Note sur la détermination du carbone et de la matière organique dans les couches holorganiques des sols forestiers, Pédologie, Gand, Belgique, XIV-1, 55-63.

Delecour F. et Kindermans M., 1980 - Manuel de description des sols, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, 118 p. + annexes.

Duclos G. - n.d., Analyses de terres de plein champ en régions méditerranéennes, Soc. du Canal de Provence, Extrait de "Eau et Aménagement" n°28, 15 p.

Hanotiaux G., 1966 - L'échantillonnage des terres en vue de l'analyse chimique, Bull. des Rech. Agron. de Gembloux, Belgique, tome 1, n°3, 410-431.

Hanotiaux G., 1985 - L'analyse du sol, UER de Sc.du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, ronéo, 48 p.

IRSIA, IGN, UG, FSAGx - Carte des sols de Belgique, édition couleurs au 1/20 000 + texte explicatif.

Jamagne M., 1993 - Évolution dans les conceptions de la cartographie des sols, Pédologie, Gand, Belgique, XLIII-1, 59-115.

Landon J.R. ed., 1991 - Booker tropical soil manual, Longman group, England, 474 p.

Laroche J., 1993 - L'analyse de terre en Région wallonne. Commission des Sols de Wallonie (CSW), c/o UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron. Gembloux, Belgique, poster et ronéo, 6 p.

Ruellan A. et Deletang J., 1967 - Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols, ORSTOM, Init. et Doc. Techn., n°5, 123 p.

Sanchez P.A., 1976 -Properties and management of soils in the tropics, J. Wiley and sons, New York, USA, 618 p.

Sanchez P.A., Couto W. et Buol W.S., 1982 - The fertility capability soil classification system : interpretation applicability and modification - Geoderma, 27, 283-309.

Soltanpour P.N. et Schwab A.P., 1977 - A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micronutrients in alkaline soils, Soil Sc. and Plant Anal., 8(3), 195-207.

ESQUISSES D'ÉTUDES DÉVELOPPÉES

Bock L., Ducat N., Roisin V., Hanotiaux G. and Mathieu L., 1993 - Characteristics and effects of organic matter on Belgian loamy soils : a reference system, Coll. "Nitrogen mineralization in agricultural soils", Haren 19-20 april, The Netherlands, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, paper submit. 5 p.

Bock L., Ducat N., Laroche J., Massart I. et Mathieu L., Impact du statut organique sur la stabilité structurale des sols en région limoneuse, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Belgique, en préparation.

Engels P. et Neven C., 1993 - Développement d'un outil pour la gestion intégrée des exploitations et des terroirs du sud-est de la Belgique. Mathieu L. et Bock L. éd. sc., Programme de développement intégré (PDI),

Groupement de Relance Économique de l'Ourthe-Amblève (GREOA) - Rap. de projet, 74 p.

Henquin H., Avril C., Bock L. et Mathieu L., 1991 - Potentialités physiques et stratégies de mise en valeur du milieu dans le haut bassin du fleuve Gambie, cas d'étude : le village de Téliré, Ann. de Gembloux, Belgique, 97, 277-291.

Homsy S., 1992 - Comparaison de quatre méthodes utilisées en routine dans les laboratoires européens pour l'appréciation de l'offre en phosphore disponible du sol, mém. de certif., UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, 89 p. + biblio.

Loukili M. en préparation, Thèse de doc. sur la plaine du Tadla au Maroc.

Massart I., 1993 - Établissement d'un référentiel agro-pédologique en région limoneuse soumise à la diversification et à l'irrigation, trav. de fin d'études, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, 81 p. + biblio. et annexes.

Mohazzab H., 1986 - Influence de différents facteurs pédogénétiques sur l'humification au bois de Lauzelle (Ottignies/Louvain-la-Neuve), mém. de certif., UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, 106 p. + biblio. et annexes.

Schartz E., 1993 - Intégration chronospatiale et diagnostic morphopédologique des formations superficielles dans la vallée de la Rulles, trav. de fin d'études, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, 100 p. + listes, biblio. et annexes.

Terneus A., Bock L., Henquin B., Khouma M., Balde D. et Mathieu L., 1993 - Réflexions sur la fertilité des terres au Fouta-Djalon (République de Guinée), Coll. intern. de l'AOCASS "Gestion durable des sols et environnement en Afrique intertropicale", Ouagadougou 6-10 déc., Burkina Faso, UER de Sc. du Sol, Fac. des Sc. Agron., Gembloux, Belgique, communic. sous réserve d'édition, 23 p. ronéo.